

## Invertebrados Edáficos e o seu Papel nos Processos do Solo



**República Federativa do Brasil**

*Luiz Inácio Lula da Silva*  
Presidente

**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

*Roberto Rodrigues*  
Ministro

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária***

**Conselho de Administração**

*Luis Carlos Guedes Pinto*  
Presidente

*Silvio Crestana*  
Vice-Presidente

*Alexandre Kalil Pires*  
*Cláudia Assunção dos Santos Viegas*  
*Ernesto Paterniani*  
*Hélio Tollini*  
Membros

**Diretoria Executiva**

*Silvio Crestana*  
Diretor Presidente

*José Geraldo Eugênio de França*  
*Kepler Euclides Filho*  
*Tatiana Deane de Abreu Sá*  
Diretores Executivos

**Embrapa Agrobiologia**

*José Ivo Baldani*  
Chefe Geral

*Eduardo Francia Carneiro Campello*  
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

*Rosângela Stralio*  
Chefe Adjunto Administrativo

VAN VLIET, P. C. J.; RADCLIFFE, D. E.; HENDRIX, P. F., COLEMAN, D. C. Hydraulic conductivity and pore size distribution in small microcosm with and without enchytraeids (Oligochaeta). **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, p. 277-282, 1998.

VILLANI, M. G.; ALLE, L. L.; DIAZ, A.; ROBBINS, P. S. Adaptive strategies of edaphic arthropods. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 44, p. 233-256, 1999.

VISSER, S. Role of the soil invertebrates in determining the composition of soil microbial communities. In: FITTER, R. (Ed). **Ecological interactions in soil: Plants, microbes and animals**. Stockholm: British Ecological Society, 1985. p. 287-317.

WARDLE, D. A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. **Advances in Ecological Research**, London, v. 26, p. 105-182, 1995.



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*ISSN 1517-8498  
Outubro/2005*

## **Documentos 201**

### **Invertebrados Edáficos e o seu Papel nos Processos do Solo**

Adriana Maria de Aquino  
Maria Elizabeth Fernandes Correia

*Seropédica – RJ  
2005*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

**Embrapa Agrobiologia**

BR465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: [www.cnpab.embrapa.br](http://www.cnpab.embrapa.br)

e-mail: [sac@cnpab.embrapa.br](mailto:sac@cnpab.embrapa.br)

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)  
José Guilherme Marinho Guerra  
Maria Cristina Prata Neves  
Verônica Massena Reis  
Robert Michael Boddey  
Maria Elizabeth Fernandes Correia  
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

**Expediente:**

Revisor e/ou ad hoc: Elen de Lima Aguiar-Menezes

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Félix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2005): 50 exemplares

A657i Aquino, Adriana Maria de.

Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo /  
Maria Elizabeth Fernandes Correia. Seropédica: Embrapa  
Agrobiologia, 2005. 52 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos,  
201).

ISSN 1517-8498

1. Invertebrado. 2. Fauna do solo. 3. Fauna edáfica. 4. Minhoca.  
5. Oligochaeta. I. Correia, Maria Elizabeth Fernandes, colab. II.  
Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia  
(Seropédica, RJ). III. Título. IV. Série.

CDD 592

© Embrapa 2005

SERRA, A.; MATEOS, E.; PARRA, X.; SARLÉ, V. Estudio de los efectos de un incendio forestal sobre poblaciones de artrópodos edáficos. **Historia Animalium**, v. 1, p. 41-62, 1992.

SILVA, R. F. da **Roça caçara: dinâmica de nutrientes, propriedades físicas e fauna do solo em um ciclo de cultura**. 1998. 165 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

SMITHERS, C. N. **Psocoptera**: The Insects of Australia. New York: Cornell University, 1970. v. 1. p. 367-375.

STORER, T. I.; USINGER, R. L. **Zoologia geral**. São Paulo: Nacional, 1979.

SWIFT, M. J.; ANDERSON, J. M. Biodiversity and ecosystem function. **Agricultural systems**, Oxford, v. 99, p.15-41, 1993.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford: Blackwell, 1979. 372 p. (Studies in Ecology, 05).

TANO, Y.; LEPAGE, M. Les termites: dynamics des nids épigés et interactions avec les composantes du milieu. In: **Synthèse du Program HYPERBAV**: Structure et fonctonment dún petit bassin versant de Savane Humide. Paris: ORSTOM, 1990. p. 105-116.

TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions—Decomposition and nutrient release. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p. 1051-1060, 1992.

TONHASCA JR., A. Diversity indices in the analysis of biologicla communities. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 46, p. 138-140, 1994.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. **Breakfast of biodiversity**: the truth about rain forest destruction. Oakland: Food First Books, 1995.

MARINISSEN, J. C. Y.; DIDDEN, W. A. M. Influence of the enchytraeid worm *Bulchozia appendiculata* on aggregate formation and organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 387-390, 1997.

MOLDENKE, A. R. Arthropods. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, S.; BOTTOMLEY, P.; BEZDICEK, D.; SMITH, S.; TABATABAI, A.; WOLLUM, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: microbiological and biochemical properties. Madison: SSSA, 1994. Part 2. p. 517-539. (Soil Science Society of America Book Series, 5).

MOORE, J. C.; WALTER, D. E. Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 33, p. 419-439, 1988.

PAOLETTI, M. G.; SCHWEIGL, U.; FAVRETTO, M. R. Soil macroinvertebrates, heavy metals and organochlorines in low and high input apple orchards and a coppiced woodland. **Pedobiologia**, Jena, v. 39, p. 20-33, 1995.

RENTZ, D. C. F.; KEVAN, D. K. Mc E. Dermaptera: The Insects of Australia. In: WALTERHOUSE, D. F. (Ed). **The Insects of Australia**. Canberra: Melbourne University, 1991. p. 360-368.

ROBERTSON, L. N.; KETTLE, B. A.; SIMPSON, G. B. The influence of tillage practices on soil macrofauna in a semi-arid agroecosystem in northeastern Australia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 48, p. 149-156, 1994.

SARR, M.; AGBOGBA, G.; RUSSEL-SMITH, A.; MASSE, D. Effects of soil fauna activity and woody shrubs on water infiltration in a semi-arid fallow of Senegal. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 16, p. 283-290, 2001.

SCHRADER, S.; ZHANG, H. Earthworm casting: stabilization or destabilization of soil structure? **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 469-475, 1997.

## Autores

### **Adriana Maria de Aquino**

Bióloga, PhD em Ciência do Solo, Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia.

BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505, Cep 23851-970, Seropédica/RJ

e-mail: [adriana@cnpab.embrapa.br](mailto:adriana@cnpab.embrapa.br)

### **Maria Elizabeth Fernandes Correia**

Bióloga, PhD em Ciência do Solo, Pesquisadora da Embrapa Agrobiologia.

BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505, Cep 23851-970, Seropédica/RJ

e-mail: [ecorreia@cnpab.embrapa.br](mailto:ecorreia@cnpab.embrapa.br)

LAVELLE, P.; BIGNELL, D.; LEPAGE, M.; WOLTERS, V.; ROGER, P.; INESON, P.; HEAL, O. W.; DHILLION, S. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **European Journal Soil Biology**, New Jersey, v. 33, p. 159-193, 1997.

LAVELLE, P.; DANGERFIELD, J. M.; FRAGOSO, C.; LOPEZ-HERNANDEZ, D.; ESCHENBRENNER, V.; BRUSSARD, L.; PASHANASI, B. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. In: WOOMER, P. L.; SWIFT, M. J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester: John Wiley, 1994. p. 137-169.

LIMA, D. A.; CORREIA, M. E. F.; AZEVEDO, V. F.; AQUINO, A. M. de; SANTOS, H. P. Atividade da fauna de solo em sistemas sob plantio direto e convencional em Passo Fundo (RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Ciência do solo: Fator de produtividade competitiva com sustentabilidade. Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001.

LIMA, D. A.; CORREIA, M. E. F.; SANTOS, H. P.; AQUINO, A. M. de; MANTO, L.; FONTANELLI, R. S. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo e rotações de culturas sobre a macrofauna do solo em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro, RJ. **Agricultura: Bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado. Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002. CD ROM.

MANDO, A.; BRUSSAARD, L.; STROOSNIJDER, L.; BROWN, G. G. Managing termites and organic resources to improve soil productivity in the Sahel. In: INTERNATIONAL TECHNICAL WORKSHOP ON BIOLOGICAL MANAGEMENT OF SOIL ECOSYSTEMS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 2002, Londrina. **Abstracts...** Londrina: Embrapa Soybean: FAO, 2002. p. 191-203. (Embrapa Soja. Documentos, 182).

GASSEN, D.; KOCHHANN, R. A. *Diloboderus abderus*: benefícios de uma praga subterrânea no sistema de plantio direto. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa, PR. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1993. p. 101-107.

GUPTA, V. V. S. R. The impact and crop management practices on the dynamics of soil microfauna and mesofauna. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota**: management in sustainable farming systems. Melbourne: CSIRO, 1994. p. 107-124.

HEISLER, C.; KAISER, E. A. Influence of agricultural traffic and crop management on Collembola and microbial biomass in arable soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 19, p. 159-165, 1995.

HENDRIKSON, N. B. Leaf litter selection by detritivorous and geophagous earthworms. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.10, p.17-21, 1990.

HENDRIX, P. F.; CROSSLEY JR., D. A.; BLAIR, J. M. B.; COLEMAN, D. C. Soil biota as component of sustainable agroecosystems. p.637-654. In: EDWARDS, C. A.; LAL, R.; MADDEN, P.; MILLER, R. H.; HOUSE, G. (Ed.). **Sustainable agricultural systems**. Iowa: Soil and Water Conservation, 1990. p. 637-654.

HOLE, F. D. Effects of animals on soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 25, p. 75-112, 1981.

HOPKIN, S. P.; READ, H. J. **The Biology of millipedes**. Oxford: University Press, 1992.

KLADIVKO, E. J.; TIMMENG, H. J. Earthworms and agricultural management. In: BOX, J. E.; HAMMOND, L. C. (Ed.). **Rhizosphere dynamics**. Madison: ASA, 1990. p. 192-216. (Selected Symposium, 113).

## Apresentação

A preocupação crescente da sociedade com a preservação e a conservação ambiental tem resultado na busca pelo setor produtivo de tecnologias para a implantação de sistemas de produção agrícola com enfoques ecológicos, rentáveis e socialmente justos. O enfoque agroecológico do empreendimento agrícola se orienta para o uso responsável dos recursos naturais (solo, água, fauna, flora, energia e minerais).

Dentro desse cenário, a Embrapa Agrobiologia orienta sua programação de P&D para o avanço de conhecimento e desenvolvimento de soluções tecnológicas para uma agricultura sustentável.

A agricultura sustentável, produtiva e ambientalmente equilibrada apoia-se em práticas conservacionistas de preparo do solo, rotações de culturas e consórcios, no uso da adubação verde e de controle biológico de pragas, bem como no emprego eficiente dos recursos naturais. Infere-se daí que os processos biológicos que ocorrem no sistema solo/planta, efetivados por microrganismos e pequenos invertebrados, constituem a base sobre a qual a agricultura agroecológica se sustenta.

O documento 201/2005 aborda os invertebrados edáficos e discute o papel dos mesmos nos processos do solo. Define o termo fauna do solo e discute a influência da diversidade da fauna, medida através de diferentes índices, em ecossistemas naturais e agroecossistemas. O documento discute em detalhes a influência de algumas práticas do manejo convencional (preparo do solo, adição de fertilizantes, pesticidas e resíduos da colheita) sobre a fauna do solo e conseqüentemente sobre as propriedades físicas do solo. Discute também possibilidades de manejo indireto dos invertebrados do solo com o objetivo de otimizar a diversidade e a abundância de alguns grupos que desempenham papéis específicos no solo. Por fim, o documento apresenta as metodologias usadas para a coleta de invertebrados edáficos (meso e macrofauna).

José Ivo Baldani  
Chefe Geral da Embrapa Agrobiologia

# SUMÁRIO

1. Definição da Fauna do Solo.....	7
2. Biodiversidade em Ecossistemas Naturais e Agroecossistemas .....	20
3. Índices de Diversidade.....	22
4. Influência da Fauna nos Processos do Solo.....	24
5. Influência do Manejo Convencional sobre a Fauna do Solo .....	31
5.1. Retirada da Vegetação Nativa .....	31
5.2. Preparo do solo .....	32
5.3. Efeito de fertilizantes.....	36
5.4. Utilização de pesticidas .....	36
5.5. Impacto da colheita.....	37
6. Modificações físicas ocorridas no solo decorrentes de alterações na comunidade da fauna de solo .....	37
6.1. Compactação de pastagem na Amazônia .....	38
6.2. Redução das Populações de Corós em Áreas de Plantio Convencional.....	39
7. Manejo da fauna do solo.....	41
8. Metodologia da coleta.....	43
9. Referências Bibliográficas .....	46

BLANCHART, E.; ABRECHT, A.; ALEE, J.; DUBOISSET, A.; GILOT, C.; PASHANASI, B.; LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L. Effects of earthworms on soil structure and physical properties. In: LAVELLE, P.; BRUSSAARD, L.; HENDRIX, P. (Ed.) **Earthworm management in tropical agroecosystems**. New York: CAB International, 1999. p. 149-172.

CHAUVEL, A.; GRIMALDI, M.; BARROS, E.; BLANCHART, E.; DESJARDINS, T.; SARRAZIN, M.; LAVELLE, P. Pasture damage by an Amazonian earthworm. **Nature**, London, v. 39, p. 32-33, 1999.

DIDDEN, W. A. M. Involvement of Enchytraeidae (Oligochaeta) in soil structure evolution in agriculture fields. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 9, p. 152-158, 1990.

EDWARDS, C. A.; LOFTY, J. R. Nitrogenous fertilizers and earthworms populations in agricultural soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 14, p. 515-521, 1982.

FLEGEL, M.; SCHRADER, S.; ZHANG, H. Influence of food quality on the physical and chemical properties of detritivorous earthworm casts. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, p. 263-269, 1998.

FRAGOSO, C.; BROWN, G.; BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; PASHANASI, B.; SENAPATI, B.; KUMAR, T. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of earthworms. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 6, p. 17-35, 1997.

FRASER, P. M. The impact of soil and crop management practices on soil macrofauna. In: PANKHURST, C. E.; DOUBE, B. M.; GUPTA, V. V. S. R.; GRACE, P. R. (Ed.). **Soil biota: management in sustainable farming systems**. Melbourne: CSIRO, 1994. p. 125-132.

GASSEN, D. Os escarabeídeos na fertilidade de solo sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8., SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6., REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., oct. 2000, Santa Maria-RS. **Biodinâmica do solo...** Santa Maria: SBOS, SBM, 2000. FERTBIO 2000. CD ROM.



## 9. Referências Bibliográficas

---

AQUINO, A. M. **Manual para a coleta da macrofauna do solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2001. 21 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 130).

ANDERSON, J. M. The breakdown and decomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill) and beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils: I. Breakdown, leaching and decomposition. **Oecologia**, Berlin, v.12, p. 251-274, 1973.

ANDERSON, J. M. Invertebrate-mediated transport process in soils. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 25, p. 5-14, 1988.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility**: a handbook of methods. 2. ed. Wallingford: C.A.B. International, 1993. 221 p.

BARNES, R. B. **Zoologia dos invertebrados**. São Paulo: Livraria Roca, 1990. 1179 p.

BAROIS, I.; VILLEMIN, G.; LAVELLE, P.; TOUTAIN, F. Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (Oligochaeta) intestinal tract. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 57-66, 1993.

BLANCHART, E. Role of earthworms in the restoration of the macroaggregate structure of a destructured soil under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 24, p.1587-1594, 1992.

BLANCHART, E.; LAVELLE, P.; BRAUDEAUS, E.; LE BISONAIS, Y.; VALENTIN, C. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 29, p. 431-439, 1997.

## Invertebrados Edáficos e o seu Papel nos Processos do Solo

---

Adriana Maria de Aquino  
Maria Elizabeth Fernandes Correia

### 1- Definição de fauna do solo

---

Fauna do solo é o termo utilizado quando se deseja referenciar à comunidade de invertebrados que vive permanentemente ou que passa um ou mais fases de desenvolvimento no solo. Esses invertebrados variam muito em tamanho e diâmetro, o que lhes confere habilidade diferenciada na sua estratégia de alimentação e adaptação ao habitat. Desta forma, o tamanho define a extensão em que a atividade dos mesmos (alimentação e escavação) pode modificar as propriedades do solo (ANDERSON, 1988), e também a amplitude em que podem ser influenciados pelo manejo do solo.

Os invertebrados do solo podem ser diferentemente classificados em função do tempo que vivem no solo, do habitat preferencial, do hábito alimentar, do meio de locomoção, ou do tamanho. O tempo em que vivem no solo pode variar, sendo que alguns grupos passam toda a vida restritos ao solo, como no caso das minhocas. Para algumas espécies de insetos, o solo é o ambiente escolhido apenas na fase de larva, sendo um habitat temporário. O habitat pode ser aquático (poros com água e filmes de água ao redor das partículas de solo) ou terrestre (atmosfera do solo). O hábito alimentar pode ser biófago (alimentam-se de outro ser vivo) ou saprófagos (obtem alimento a partir da matéria orgânica em decomposição). Quanto à locomoção, podem ser escavadores ou não escavadores. O tamanho, subdivisão mais usada, é tradicionalmente baseada no comprimento do animal (Figura 1). O diâmetro dos animais, como já mencionado anteriormente, é outra medida muito utilizada para classificação, sendo útil para o estudo da funcionalidade da comunidade decompositora através de experimentos utilizando "litterbags", ou seja, sacos de tela contendo serrapilheira ou palhada em decomposição (Figura 2). A microflora,

composta por bactérias e fungos, apesar de não fazerem parte da fauna de solo, são ilustradas na classificação por diâmetro, apenas como referência (Figura 2).

A microfauna compreende invertebrados de diâmetro do corpo inferior a 100  $\mu\text{m}$ , incluindo os protozoários e nematóides (Figura 3). Esses animais alimentam-se de microrganismos, o que faz com que tenham importante papel na regulação da matéria orgânica (SWIFT et al., 1979).

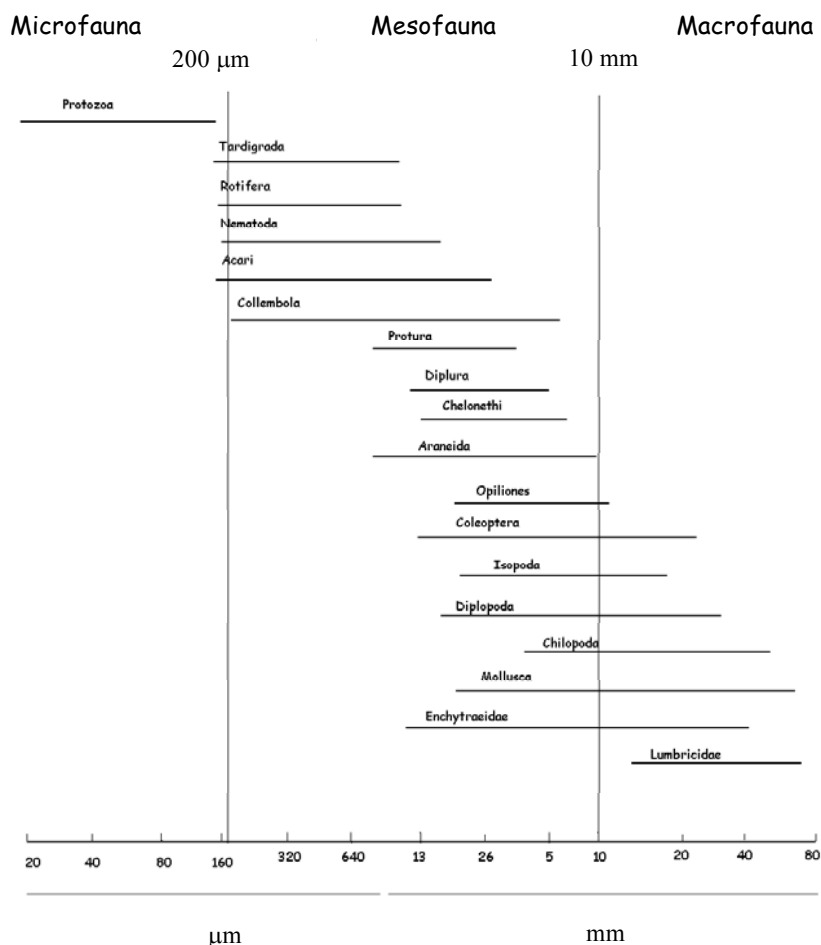


Figura 1. Classificação dos organismos do solo com base no comprimento do corpo.

As armadilhas do tipo "pitfall" são utilizadas para capturar os invertebrados tanto da mesofauna, quanto da macrofauna que atuam na interface solo-serapilheira. Esse método pode dar uma indicação da atividade da fauna epígea, ou seja, dos componentes que atuam, principalmente na superfície do solo, tendo um caráter mais qualitativo que quantitativo (MOLDENKE, 1994). Esse método é bastante simples e consiste na colocação de recipientes de cerca de 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro ao nível do solo, de tal forma que, os animais ao se locomoverem, caem acidentalmente nesses recipientes (Figura 28). Utiliza-se cerca de 200 ml de formol a 4% nas armadilhas para que os animais não fujam e possam também ser conservados. A armadilha permanece no campo durante 7 dias, sendo então recolhida e levada ao laboratório para identificação e contagem dos animais. Os resultados podem ser expressos em número de indivíduos por armadilha por dia.



Figura 28. Armadilha tipo "pitfall" para capturar fauna epígea.

Para a captura da macrofauna o ideal é utilizar o método conhecido como TSBF (“Tropical Soil Biology and Fertility”), desenvolvido por ANDERSON & INGRAM (1993), que inclui os além dos artrópodes maiores, outros grupos como as minhocas. Na Figura 27 são apresentadas as etapas que consistem essa amostragem.



Figura 27. Método do “TSBF” (Tropical Soil Biology and Fertility): a), b) e c) separação dos horizontes em três camadas (0-10, 10-20 e 20-30 cm de profundidade), d) Extração da macrofauna da serrapilheira e de cada camada de solo; e acondicionamento em recipientes devidamente identificados, contendo álcool 70% (AQUINO, 2001).

Os animais coletados e conservados em álcool são visíveis ao olho nu, apresentando comprimento do corpo maior que 10 mm e o diâmetro do corpo maior que 2 mm. A identificação é realizada na lupa a nível de grandes grupos taxonômicos, os quais são enumerados e pesados, obtendo-se assim a densidade e biomassa dos mesmos, sendo o resultado expresso em número de indivíduos.  $m^{-2}$  e  $g.m^{-2}$ , respectivamente.

A mesofauna compreende invertebrados de tamanho médio (100  $\mu m$  - 2 mm), taxonomicamente diversos, incluindo, ácaros, colêmbolos, proturos e dipluros (Figura 4). Esses animais habitam os espaços porosos do solo e não são capazes de criar suas próprias galerias, sendo por isso particularmente afetados pela compactação do solo (HEISLER & KAISER, 1995). A mesofauna também é importante na regulação da decomposição da matéria orgânica ao promover a remoção seletiva de microrganismos (VISSER, 1985; MOORE & WALTER, 1988).

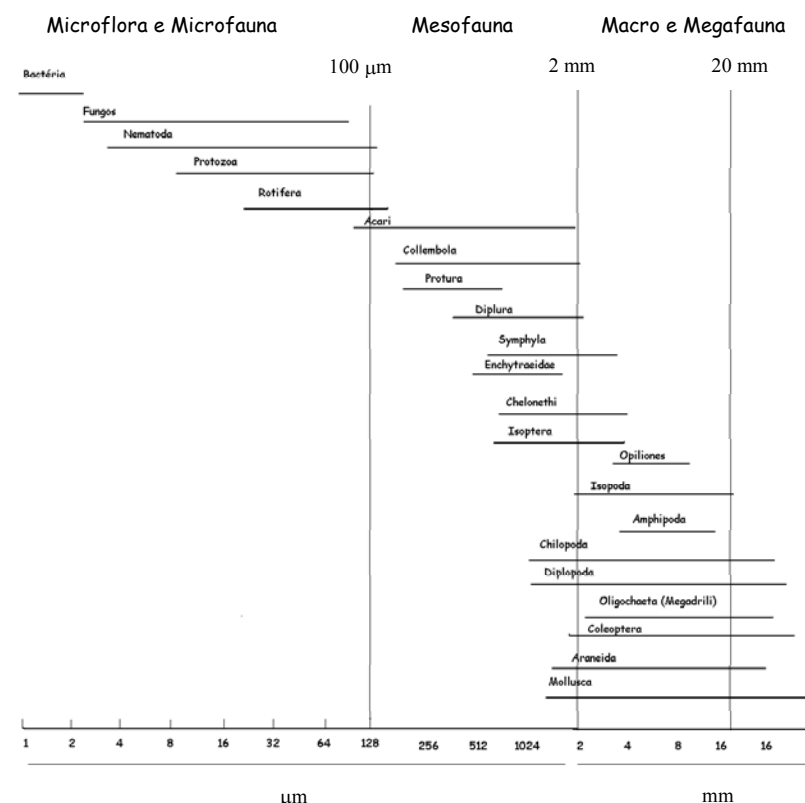


Figura 2. Classificação dos organismos do solo com base no diâmetro do corpo.

## MICROFAUNA

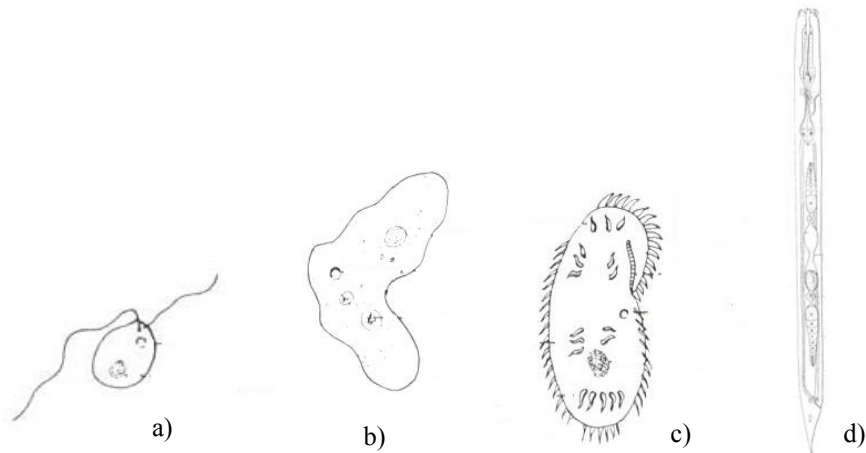


Figura 3. Protozoários do solo: a) flagelado, b) nu, c) ciliado. (d) esquema geral de um nematóide.

## MESOFAUNA

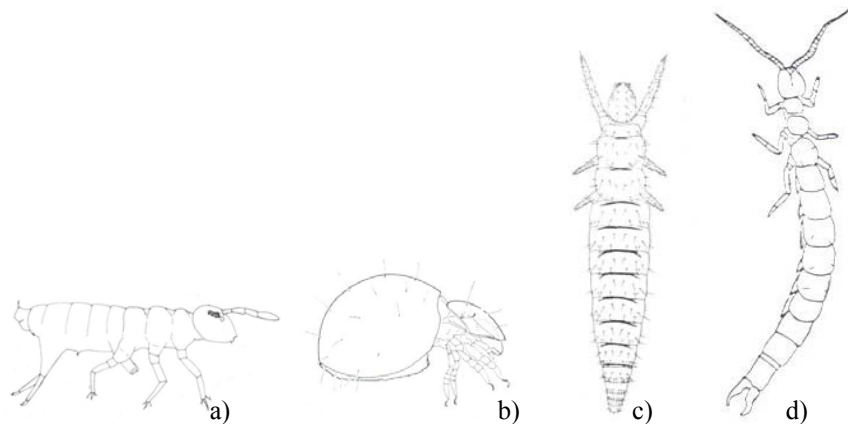


Figura 4. a) Collembola (colêmbolos), b) Acarina (acaros), Oribatida, comum em solo, c) Protura (não apresenta antena), d) Diplura.

## 8. Metodologia de coleta

Os invertebrados edáficos podem ser capturados do solo de diferentes formas, dependendo do objetivo do estudo e do tipo de organismos que se deseja capturar.

Para a captura da comunidade da mesofauna utiliza-se uma sonda de 7,5 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento para retirada do solo, o qual será acondicionado posteriormente em um recipiente com uma malha de 2 mm contendo um funil. O calor que incide sobre essa amostra de solo através de lâmpadas (40 W), estimulará os indivíduos da mesofauna (colêmbolos, ácaros, protura, diplura e outros) a migrarem pelo funil, os quais serão capturados durante 15 dias em um outro frasco contendo álcool (Figura 26).

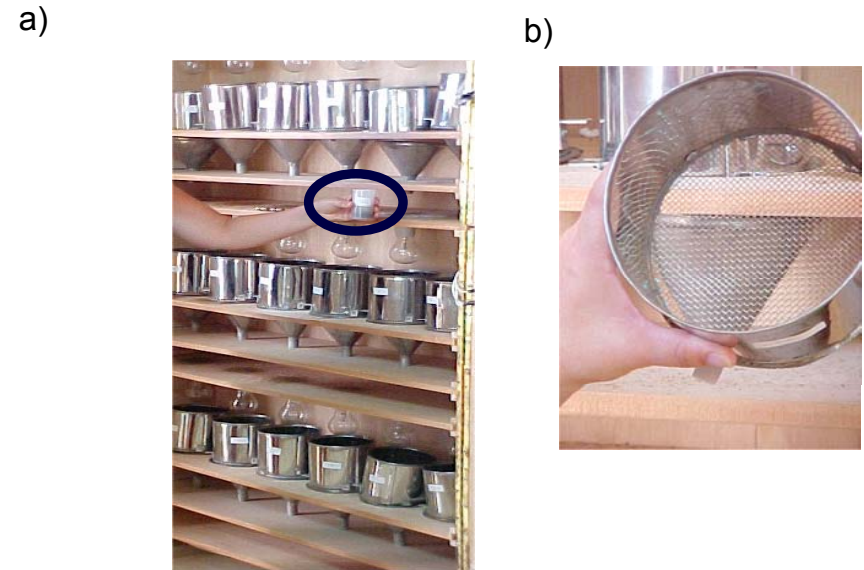


Figura 26. Berlese para a coleta da mesofauna do solo (MOLDENKE, 1994): a) detalhe do frasco com álcool, b) detalhe do tamanho da malha utilizada para captura da mesofauna.



A vermicompostagem adapta-se muito facilmente tanto ao campo como ao meio urbano, tendo dupla função: a produção de húmus e a produção das minhocas. A comercialização de ambos pode complementar a renda familiar e contribuir para a reciclagem de rejeitos que poluem o ambiente.

Na natureza existem cerca de 4.000 espécies de minhocas distribuídas em diferentes categorias ecológicas (Tabela 7). Considerando que para a vermicompostagem é necessário que as minhocas estejam bem adaptadas à criação em cativeiro e necessitam de grande quantidade de matéria orgânica em sua dieta, as espécies recomendadas são encontradas em ambiente com abundância de serapilheira, ou seja, as epigeicas.

Atualmente as espécies mais indicadas são *Eisenia foetida* (vermelha da califórnia) e a *Eudrilus eugeniae* (noturna africana).

Tabela 7. Diversidade funcional das minhocas e de outros invertebrados em função do ambiente (LAVELLE et al., 1994).

Categoria funcional e descrição	Função no solo.
Epigeicos: vivem associados e se alimentam da serapilheira: artrópodes saprófagos, pequenas minhocas pigmentadas, e predadores desses (quilópodes, formigas e alguns coleópteros)	Fragmentam a serapilheira e participam da decomposição "in situ".
Anécicos: se alimentam da serapilheira, mas constroem galerias subterrâneas e ninhos para abrigos, minhocas grandes e pigmentadas e a grande maioria das espécies de cupins.	Removem a serapilheira e transportam para diferentes ambientes, como subsolo e cupinzeiros, alterando a cinética da decomposição e a distribuição espacial desses produtos.
Endogeicos: vivem no solo, são geófagas e se alimentam da matéria orgânica e raízes vivas e mortas, consistem principalmente de cupins e minhocas despigmentadas.	Produzem coprólitos e "pellets" fecais e participam da macroagregação do solo. Esses animais constroem galerias e ninhos epigeicos (formigas e cupins) e eventualmente excretam na superfície como os coprólitos das minhocas. Esses processos tem importante influência na organização física do solo.

A macrofauna é composta pelos organismos de maior diâmetro (2 mm - 20 mm) e compreende entre outros, as minhocas, formigas e cupins (Figuras 5 a 19). Os componentes da macrofauna têm o corpo em tamanho suficiente para romper as estruturas dos horizontes minerais e orgânicos do solo ao se alimentar, movimentar e construir galerias no solo (ANDERSON, 1988). Os miriápodes (gongôlos, lacraias, etc.), por exemplo, têm uma morfologia que lhes permitem forçar, através da cabeça e seus diversos pés, seus caminhos entre a vegetação e outros habitats não disponíveis à micro e mesofauna (HOPKIN & READ, 1992).

## MACROFAUNA

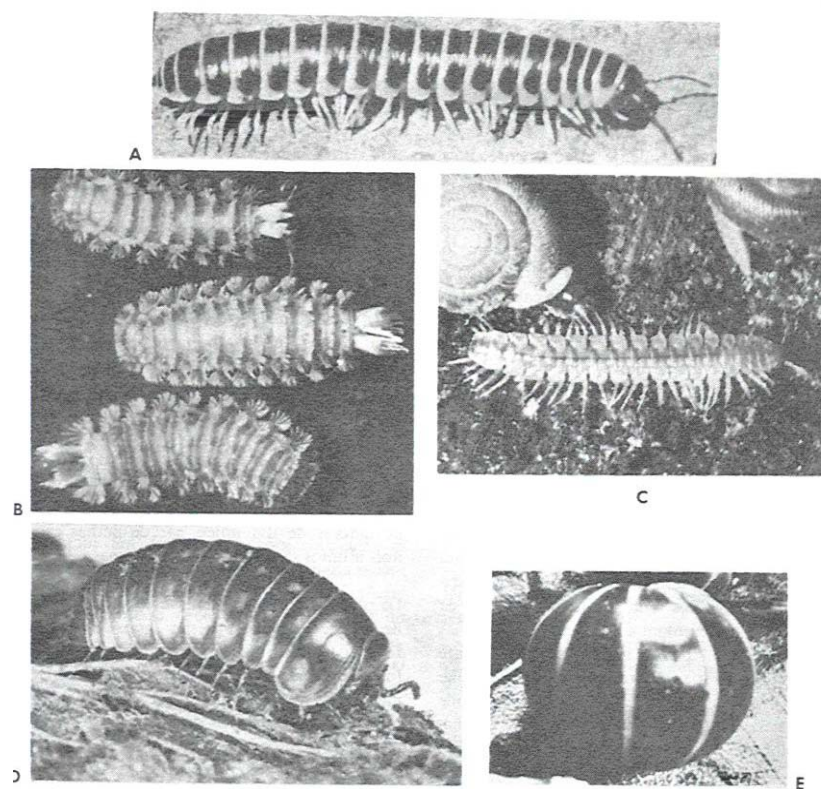


Figura 5. Diplopoda (gongôlo, piolho-de-cobra, embuá), caracterizam-se por apresentarem dois pares de pernas por segmento (modificado de BARNES, 1990).

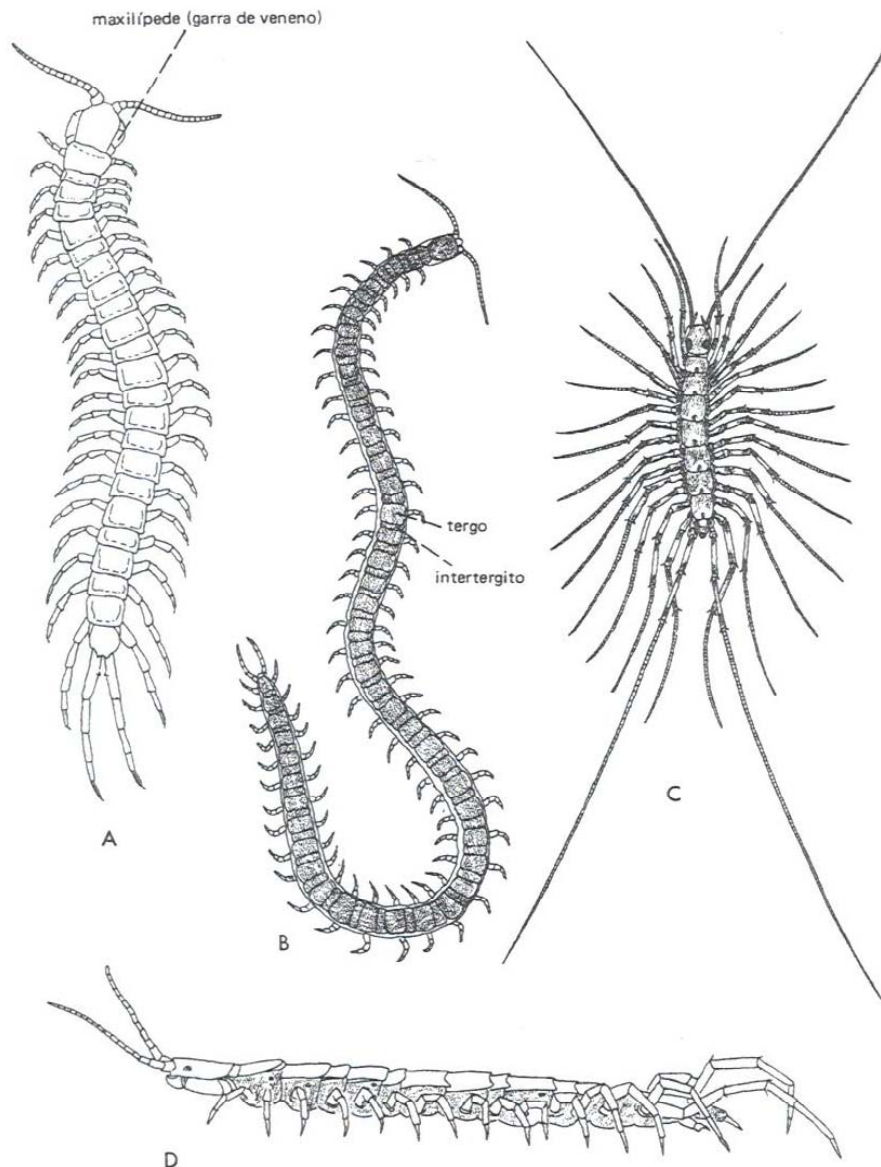


Figura 6. Chilopoda (centopéias). Essa classe apresenta as seguintes ordens: a) Scolopendromorpha, b) Geophilomorpha, c) Scutigermorpha, d) Lithobiomorpha (modificado de BARNES, 1990).



Figura 25- Larva de Bothynus sp. com palha armazenada no solo (GASSEN, 2000).

## 7. Manejo da fauna do solo

Os invertebrados do solo podem ser manejados indiretamente através do manejo, otimizando a diversidade e abundância de determinados grupos que desempenham papéis específicos, ou diretamente. As minhocas estão entre os grupos mais conhecidos pelo manejo direto através da vermicompostagem. Por esse processo as minhocas se alimentam de resíduos orgânicos (esterco em geral, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos domésticos, etc.) e ao defecarem promovem a produção de adubo orgânico mais estabilizado.

Tabela 6- Teores de acidez (pH), alumínio (Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), matéria orgânica (M.O.) e argila no perfil do solo e nas câmaras de *D. abderus* (GASSEN & KOCHHANN, 1993).

Profundidade cm	pH	Al me/100g	Ca me/100g	Mg me/100g	P ppm	K ppm	M.O. %	Argila %
0 - 5	5,6 a	0,13 c	5,7 ab	1,9 ab	55,4 a	194 a	3,4 b	30,8 c
5 - 10	5,5 a	0,26 c	5,1 b	1,6 b	26,5 bc	126 ab	2,5 c	34,6 c
10 - 15	5,4 a	0,41 c	4,4 b	1,6 b	17,7 cd	79 bc	2,3 cd	41,6 ab
15 - 20	4,9 b	1,41 b	2,6 c	1,1 c	7,8 de	50 c	2,1 cd	46,0 a
20 - 25	4,7 b	2,24 a	1,8 c	0,9 c	3,5 e	33 c	2,0 cd	47,0 a
Câmara	5,5 a	0,20 c	6,6 a	2,1 a	46,0 a	172 a	4,7 a	35,5 bc
C.V.%	7,1	6,2	4,9	15,6	3,6	7,5	19,6	8,9

Médias seguidas da mesma letra são equivalentes através do teste de Tukey 95%.

As galerias construídas por esta e outras espécies de corós podem atingir mais de 1 m de profundidade e constituem-se em canais abertos para a infiltração da água da chuva, diminuindo o escoamento superficial que pode levar a um processo erosivo intenso. Outras espécies de corós, como o *Bothynus* sp. (conhecido como coró-da-palha) e *Cyclocephala flavipennis*, não causam danos às plantas cultivadas, mesmo em densidades elevadas, mas apresentam os mesmos efeitos benéficos de construção de galerias e incorporação da matéria orgânica (GASSEN, 2000) (Figura 25).

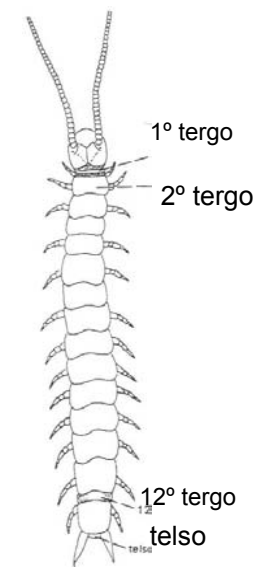


Figura 7. Symphyla. O tronco apresenta 12 segmentos portadores de pernas, cobertos por 15 a 22 escamas tergais. O tronco termina em um pequeno telson (modificado de BARNES, 1990).

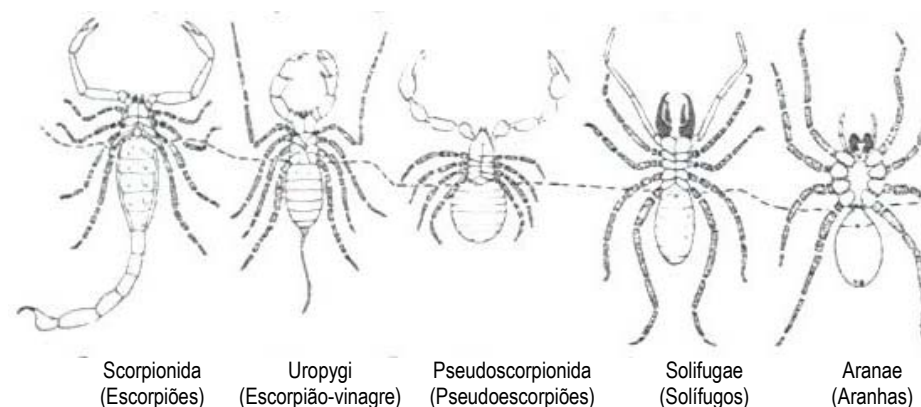


Figura 8. Arachnida. Apresentam limite entre cefalotórax e abdome, indicado pela linha interrompida e 4 pares de pernas (modificado de STORER & USINGER, 1979).



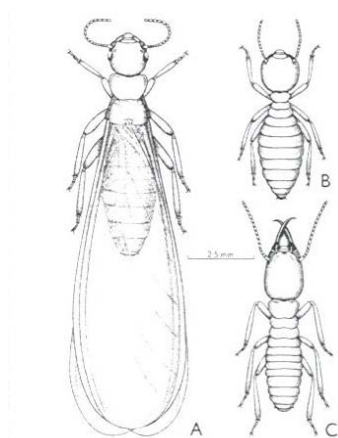


Figura 9. Isoptera (cupins, térmitas). Todas as espécies são sociais. Castas de *Coptotermes acinaciformes*, *Rhinotermitidae*: a) alada, b) operária, c) soldado (modificado de GAY, 1970).

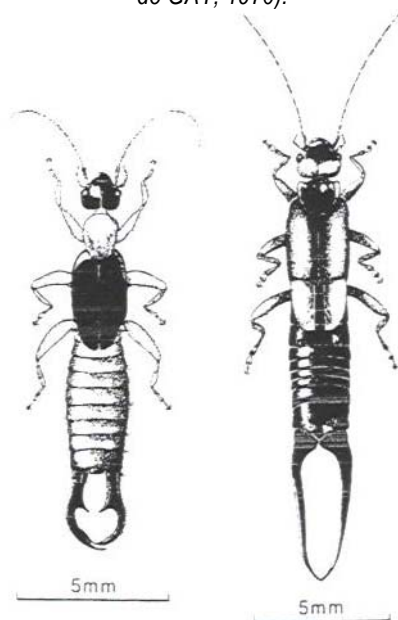


Figura 10. Dermaptera: Os representantes dessa ordem são comumente denominados de tesourinha devido à presença de um pinça existente na extremidade do abdome, que possui função de defesa e auxilia a cópula. (modificado de RENTZ & KEVAN, 1991).

vazios vários nichos, que puderam ser ocupados sem competição por *P. corethrurus*. Este comportamento de compactação do solo não é necessariamente sempre detectado. Pelo contrário, em plantações de chá na Índia, esta mesma espécie foi utilizada para recuperar a fertilidade e a macroporosidade do solo com sucesso (FRAGOSO et al., 1999). O que ocorreu para a pastagem próxima a Manaus foi que a exclusão de grupos da fauna de solo com ação descompactante alterou o balanço compactação/descompactação, fazendo com que a compactação ocorresse com maior intensidade que a descompactação (CHAUVEL et al., 1999).

## 6.2. Redução das Populações de Corós em Áreas de Plantio Convencional

Os corós, também conhecidos como bicho bolo, capitão ou pão de galinha, são larvas de besouros escarabeídeos, que caracterizam-se como insetos de solo subterrâneos. Em áreas agrícolas, algumas espécies podem atingir o status de praga por alimentarem-se das raízes de culturas como o trigo e a soja (GASSEN, 2000). A prática do plantio direto promove um ambiente favorável, pois assegura alimento, um microclima propício e como não há preparo do solo, as galerias construídas pelas larvas não são destruídas.

O *Diloboderus abderus* ou coró-da-pastagem é uma destas espécies que podem ser pragas de lavouras e pastagens, mas que também ganhou a denominação de praga útil, pelos benefícios que traz à fertilidade e à física do solo (GASSEN, 2000). Amostras de solo coletadas no perfil de solo até 25 cm e dos resíduos encontrados nas câmaras de larvas de *D. abderus*, em lavouras de Santa Rosa e Giruá (RS), demonstraram que o pH e os teores de nutrientes, matéria orgânica e argila são semelhantes aos da camada superficial (Tabela 6).



### 6.1. Compactação de Pastagem na Amazônia

No trabalho realizado por CHAUVEL et al. (1999), é demonstrado que a conversão de floresta para pastagem promove uma mineralização anaeróbia da matéria orgânica, como resultado de alterações das propriedades físicas do solo. A compactação do solo dificulta a drenagem, reduzindo a taxa de difusão de gases. Estes fatores limitam o consumo de metano e promovem a produção anaeróbia deste gás. Este fenômeno comum em solos alagados e que contribui para a emissão de metano na atmosfera é observado também no solo compactado de uma pastagem próxima a Manaus.

Como causa inicial da compactação, CHAUVEL et al. (1999) apontam a mecanização pesada e o pisoteio do gado. Um segundo agente, que de acordo com os autores, pode ter efeitos mais profundos e duradouros é a elevada densidade da minhoca invasora *Pontoscolex corethrurus*. Esta espécie é uma colonizadora agressiva e oportunista de áreas desmatadas, que chega a atingir na área de estudo, densidades de até 400 indivíduos por m<sup>2</sup> e representa 90% da biomassa de toda a fauna de solo.

Para avaliar o efeito desta espécie de minhoca sobre a densidade do solo, os autores umedeceram um solo natural de área de floresta a um potencial hídrico de -10 kPA. A macroporosidade (na faixa de 0,1 a 100 µm) caiu de 21,7 para 3 cm<sup>3</sup> por 100 g, indicando que o solo superficial da floresta (de 0-5 cm) era extremamente sensível à compactação. Ao submeter o mesmo solo à passagem pelo tubo digestivo de *P. corethrurus*, a macroporosidade foi ainda mais reduzida para 1,6 cm<sup>3</sup> por 100 g. A explicação dos autores para esta drástica transformação da estrutura do solo, é que durante a passagem do solo pelo tubo digestivo da minhoca há uma dispersão quase que total das partículas do solo em um ambiente extremamente úmido (cerca de 0,85 g de água por g de solo).

As questões que se seguem são: 1) porque houve a proliferação desta espécie de minhoca e; 2) porque a sua ação no solo é tão prejudicial nesta região. A conversão da floresta para pastagem e a introdução de espécies exóticas de gramíneas promoveu uma redução de 68% da biodiversidade da fauna de solo, deixando

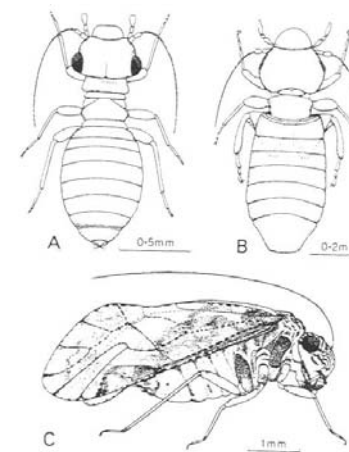


Figura 11. Psocoptera (piolho de livro). Apresentam cabeça destacada, mesotórax bastante desenvolvido e antena longa a) Trogiidae; b) Liposcelidae, c) Myopsocidae (repousa as asas como um telhado) (modificado de SMITHERS, 1970).

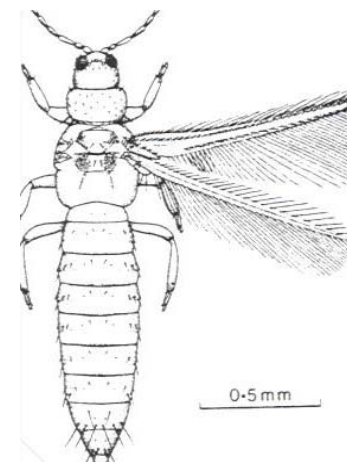


Figura 12. Thysanoptera (tripes). Apresentam asas tipo franjada (thysanus = franja) (modificado DE SMITHERS, 1970).



Figura 13. Isopoda (tatuzinho de jardim). São crustáceos, apresentam um par de antenas e sete pares de pernas.



Figura 14. Oligochaeta (minhocas).

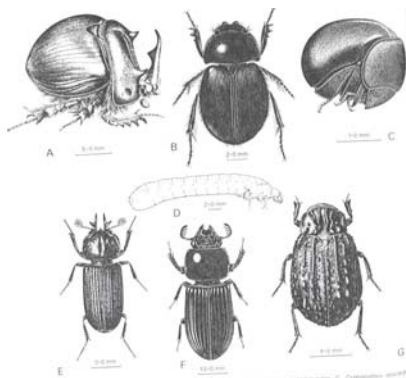


Figura 15. Coleoptera (besouros).

proporcionada pelas ervas daninhas do que propriamente resultado da intoxicação da fauna (WARDLE, 1995).

Os inseticidas apresentam efeitos negativos tanto sobre a macrofauna quanto mesofauna. Em alguns casos pode haver uma substituição de grupos de ácaros e oscilações das populações de colêmbolos (GUPTA, 1994).

### 5.5. Impacto da Colheita

Quando a cultura de interesse é uma cultura anual, pode-se dizer que o sistema é formado e “destruído”, em um período igual ou inferior a um ano. O resultado desta alteração na vegetação sobre a fauna de solo é que apenas espécies da fauna muito resistentes e de ciclo rápido são capazes de permanecer na área de cultivo ao longo de vários ciclos da cultura. Há uma redução brutal tanto na densidade quanto na diversidade, principalmente da fauna epígea.

LIMA et al. (2001) utilizaram armadilhas do tipo pitfall para medir a atividade da fauna de solo epígea em sistemas de produção de grãos sob plantio direto e convencional. Uma amostragem foi feita em maio de 2000, após a colheita da soja e outra em outubro do mesmo ano, enquanto a cultura do trigo ainda estava estabelecida. Na amostragem após a colheita observou-se uma uniformização da área como um todo, não sendo observadas diferenças entre as áreas de plantio direto e convencional. No caso da amostragem em que a cultura estava presente, estas diferenças foram facilmente identificáveis.

### 6. Modificações Físicas Ocorridas no Solo Decorrentes de Alterações na Comunidade da Fauna de Solo

Nesta seção serão apresentados dois exemplos em que a modificação da comunidade da fauna de solo, decorrente da atividade agrícola convencional, resultou em modificações nas propriedades físicas do solo.

### 5.3. Efeito de Fertilizantes

A aplicação de fertilizantes inorgânicos pode ter um efeito positivo para a fauna de solo, já que ao promover uma maior biomassa vegetal promove também um retorno da matéria orgânica ao solo (FRASER, 1994). A magnitude desse efeito depende diretamente da demanda de nutrientes das plantas cultivadas e da disponibilidade de nutrientes no solo. Quanto maior for o aumento na biomassa vegetal, maior também será a resposta da fauna, embora essa relação não tenha que ser necessariamente linear. Alguns fertilizantes, no entanto, podem ser tóxicos a alguns componentes da fauna de solo. É o caso das minhocas que em geral sofrem intoxicação por amônia (KLADIVKO & TIMMENG, 1990).

A adição de adubos orgânicos, no entanto podem ter um efeito benéfico sobre a fauna de solo, como demonstrado por EDWARDS & LOFTY (1982). É que além de significarem uma incorporação de nutrientes ao solo, representam também uma fonte alimentar adicional (KLADIVKO & TIMMENG, 1990).

### 5.4. Utilização de Pesticidas

Os efeitos dos pesticidas sobre a fauna de solo variam não só em função dos compostos utilizados, como também com o método de aplicação. PAOLETTI et al. (1995) encontraram que a redução de coleópteros carabídeos estava relacionada com a utilização de pesticidas.

Os fungicidas em geral, por serem aplicados em doses maiores que inseticidas e herbicidas, têm efeitos muito mais drásticos na fauna do solo (FRASER, 1994). Além disso, há que se considerar os efeitos indiretos da aplicação. A redução da população de fungos leva também a uma redução das populações dos animais fungívoros e de seus potenciais predadores.

Os herbicidas em geral tem um efeito inibidor nas populações da fauna de solo, que no entanto, é menos pronunciado que o de fungicidas e inseticidas. A redução nas densidades é resultado mais da simplificação do habitat, pela retirada da cobertura viva



Figura 16. Hemiptera: Sub-ordens: a) Heteroptera (percevejos), b) Auchenorrhyncha (cigarra, cigarrinhas), c) Sternorrhyncha (pulgões).

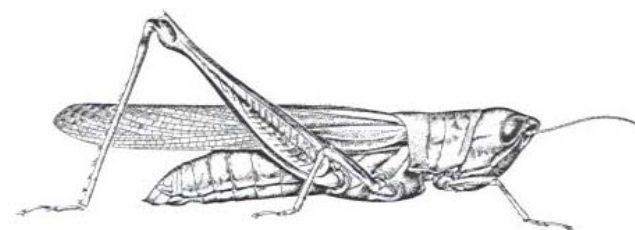


Figura 17. Orthoptera (gafanhotos).

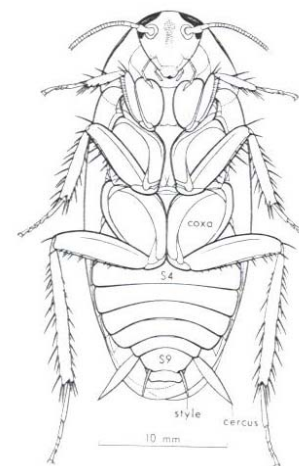


Figura 18. Blattodea (baratas). Vista ventral.

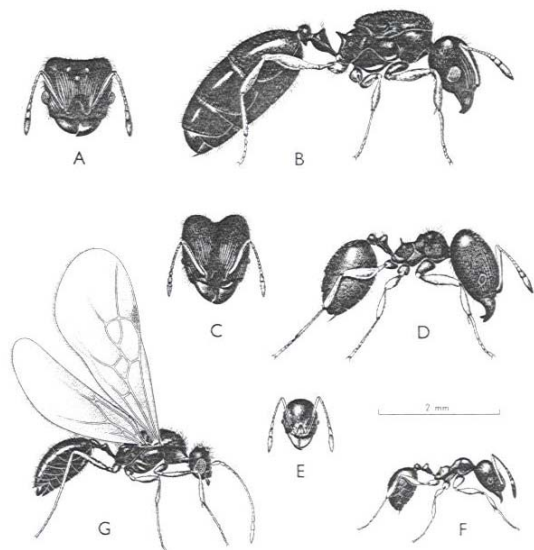


Figura 19. Hymenoptera (formigas, abelhas, vespas). Castas de Myrmicinae: a, b) rainha, c, d) operárias maiores, e, f) operárias menores, g) macho.

Os organismos que compreendem a macrofauna são denominados "engenheiros do ecossistema" (LAVELLE et al., 1997) por influenciarem, direta ou indiretamente, a disponibilidade de recursos para os outros organismos, através da escavação e/ou ingestão e transporte de material mineral e orgânico do solo, das estruturas construídas como resultado dessas atividades, incluindo galerias, bolotas fecais, montículos e ninhos, modificando o ambiente físico e químico do solo, e da exclusão da macrofauna do solo, que reduz a taxa de decomposição e a liberação de nutrientes da serrapilheira.

ANDERSON (1973) avaliou o papel de diferentes comunidades decompositoras (microrganismos, microfauna, mesofauna e macrofauna) na decomposição da serrapilheira de castanheira utilizando "litter bags" em três diferentes malhas: 45  $\mu$ m, 1 mm, 5 mm em locais diferentes, e observou que a taxa de decomposição entre as três malhas foi similar em solo mais ácido em que dominavam colêmbolos, ácaros e protozoários, e a macrofauna era ausente ou ocorria em baixa diversidade. Já em solos menos

convencional no sul do Brasil, detectou altas densidades de enquitreídeos nos dois sistemas de manejo, embora a sua dominância no plantio convencional tenha sido maior (LIMA et al., 2002).

A macrofauna é fortemente afetada pela utilização do plantio convencional. Os térmitas têm as suas populações drasticamente reduzidas devido principalmente à desestruturação física de seus ninhos e galerias. Artrópodes de superfície como aranhas, diplópodes, quilópodes, e alguns coleópteros chegam a ser, em alguns casos, eliminados do sistema, já que são extremamente dependentes da presença de serrapilheira (WARDLE, 1995).

O plantio direto, por outro lado, favorece altas densidades de invertebrados detritívoros e predadores, fundamentais para a ciclagem de nutrientes no sistema e controle de pragas. Por outro lado, as densidades de herbívoros, quer sejam pragas ou não, não são necessariamente afetadas (ROBERTSON et al., 1994). Na Tabela 5 estão sintetizados os resultados encontrados por ROBERTSON et al. (1994) que avaliaram a fauna de solo em três sistemas de preparo de solo: plantio direto, cultivo mínimo e plantio convencional.

Tabela 5 – Número total de invertebrados da fauna de solo pertencentes aos grupos funcionais dos herbívoros, detritívoros e predadores, coletados em três sistemas de preparo do solo, em Queensland, Austrália. (Adaptado de ROBERTSON et al., 1994)

Grupos Funcionais	Plantio Direto	Cultivo Mínimo	Plantio Convencional
Herbívoros			
- pragas	167	113	128
- benéficos	12	19	12
Detritívoros	537	246	111
Predadores	146	104	78



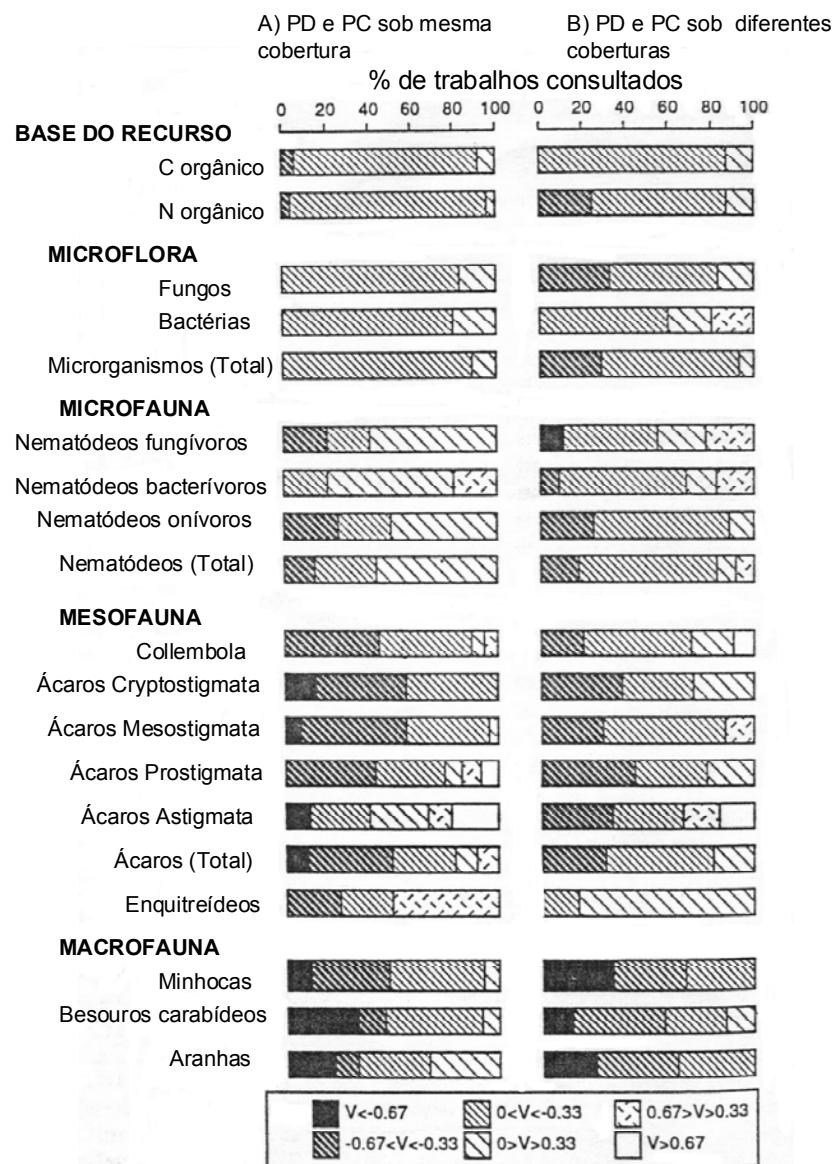


Figura 24 - Resultados dos estudos compilados por WARDLE (1995), nos quais o índice V representa a diferença relativa em abundância ou biomassa dos grupos de organismos entre áreas de plantio direto e convencional.

ácidos, a taxa de decomposição era tanto maior quanto maior a malha devido à atividade de fragmentação dos animais maiores, como minhocas e miriápodes. Essa descrição exemplifica bem a relação que pode existir entre o tamanho do corpo dos organismos e a função que podem desempenhar no solo, nesse caso no processo de decomposição da matéria orgânica.

Outro ponto importante é a qualidade do material (relação C/N, concentração de polifenóis, etc.), disponível para a subsistência da fauna do solo, de forma que pode influenciar a comunidade através da palatabilidade para os animais, tendo HENDRIKSON (1990) e TIAN et al. (1992), demonstrado que esta é bem diversa entre os diferentes grupos da fauna do solo. Na Tabela 1 foi sumarizada a influência dos microrganismos e dos diferentes grupos de tamanho da fauna do solo nos processos do ecossistema.

Tabela 1. Influência da biota do solo nos processos do ecossistema:

	Ciclagem de nutrientes	Estrutura do solo
Microflora	Cataboliza a matéria orgânica; Mineraliza e imobiliza nutrientes.	Produz compostos orgânicos que ligam agregados;
Microfauna	Regula as populações de bactérias e fungos; Altera o "turnover" de nutrientes.	Pode afetar a agregação do solo através das interações com a microflora;
Mesofauna	Regula as populações de fungos e da microfauna.	Produz "pellets" fecais, cria bioporos, promove a humificação;
Macrofauna	Fragmenta os resíduos de plantas, Estimula a atividade microbiana.	Mistura partículas minerais e orgânicas, redistribui matéria orgânica e microrganismos, cria bioporos, promove humificação e produz "pellets" fecais.

Modificado de HENDRIX et al. (1990).

Atualmente com o crescente interesse por práticas agrícolas mais conservacionistas muita ênfase tem sido dada ao estudo da estrutura da comunidade da macrofauna, visando entender o funcionamento do solo e obter possíveis indicadores da qualidade do solo.

## 2. Biodiversidade em Ecossistemas Naturais e Agroecossistemas

A biodiversidade ganhou destaque mundial e tornou-se até mesmo uma expressão popular, após a Agenda 21, produzida na ECO 92 realizada no Rio de Janeiro. A biodiversidade de um ecossistema natural difere fundamentalmente de um ecossistema agrícola, que tem a intervenção do homem para a produção de alimento, como principal aspecto. Num ecossistema natural a regulação interna de funcionamento é basicamente um produto da biodiversidade, que controla o fluxo de energia, nutrientes e informação (SWIFT & ANDERSON, 1993). No ecossistema agrícola essa regulação é perdida pela simplificação do sistema.

A diversidade tem um papel importante na manutenção da estrutura e do funcionamento do ecossistema. Os ecossistemas naturais geralmente seguem o princípio de que mais diversidade permite maior resistência à perturbação e à interferência. Os ecossistemas com alta diversidade tendem a se recuperar mais rapidamente da perturbação, e restaurar o equilíbrio em seus processos de ciclagem de materiais e fluxo de energia; enquanto que em ecossistemas com mais baixa diversidade, a perturbação pode provocar mais facilmente modificações permanentes no funcionamento, resultando na perda de recursos do ecossistema e em alterações na constituição de suas espécies.

Diferentemente dos sistemas naturais, em sistemas agrícolas são reconhecidos dois tipos de biodiversidade: a biodiversidade planejada, que é determinada pelo tipo de manejo e uma segunda, dependente desta que é denominada biodiversidade associada, e inclui a fauna do solo (herbívoros, carnívoros, decompositores, etc.), que coloniza o ambiente agrícola no qual influi na ciclagem de nutrientes, regulação de pragas e outros processos do solo (Figura 20).

convencional. O zero representa abundâncias iguais sob os dois manejos. A partir dos valores obtidos, WARDLE (1995) construiu as seguintes categorias para expressar o grau de resposta ao preparo do solo:

- extrema inibição pelo preparo do solo :  $V < -0,67$ ;
- inibição moderada:  $-0,33 > V > -0,67$ ;
- ligeira inibição:  $0 > V > -0,33$ ;
- ligeira estimulação:  $0 < V < 0,33$ ;
- estimulação moderada:  $0,33 < V < 0,67$ ;
- estimulação extrema:  $V > 0,67$ .

Os efeitos do preparo do solo sobre as populações de microartrópodes, em particular ácaros e colêmbolos, são causados em parte, pela perturbação física do solo. Alguns indivíduos podem ser mortos inicialmente pela abrasão provocada pelas operações de aração e gradagem ou por ficarem confinados em torrões de solo revolvidos (WARDLE, 1995).

A Figura 3 apresenta um gráfico construído por WARDLE (1995) apresentando a porcentagem de trabalhos revisados em que cada uma das categorias é observada para diversos grupos da fauna de solo.

Outro grupo importante da mesofauna é Enchytraeidae, que é uma família de Oligochaeta, mas com características bastante diferenciadas das minhocas mais comuns. Eles são pequenos vermes descoloridos que escavam ativamente o solo e podem promover um aumento na agregação, porosidade e infiltração de água (DIDDEN, 1990; VAN VLIET et al., 1998). Eles podem tanto ser inibidos, quanto estimulados pelo preparo do solo. No entanto, a estimulação observada em vários trabalhos é decorrente da sua elevada capacidade de recuperação após perturbações e também ao aumento na disponibilidade de alimento que foi incorporado ao solo pelas ações de aração e gradagem (WARDLE, 1995). Um estudo realizado mais recentemente em sistemas de plantio direto e

pequena área de floresta, com o objetivo de simular uma roça caiçara (SILVA, 1998). O principal efeito do fogo é a destruição da cobertura vegetal e dos horizontes orgânicos mais superficiais do solo, que de acordo com SERRA et al. (1992) provocam uma mudança de caráter mais quantitativo sobre a fauna de solo. Estas alterações de densidade, no entanto, podem alterar a estrutura das comunidades, como a que foi registrada para uma área de floresta, em Barcelona, onde a relação Acari/Collembola aumentou após um incêndio, perdurando por até 15 meses (SERRA et al., 1992). Este tipo de modificação nas relações de densidade entre grupos da fauna de solo podem trazer modificações de caráter funcional, principalmente se os grupos afetados forem originalmente de grande importância para a comunidade.

## 5.2. Preparo do Solo

As práticas de preparo de solo, como a aração e a gradagem são largamente utilizadas na agricultura, independentemente da cultura ou do tipo de solo. Na literatura têm sido encontrados relatos em que a fauna pode ser em alguns casos inibida e em outros estimulada pelas práticas de preparo do solo. Em geral, a macrofauna, principalmente a epígea é extremamente prejudicada pela aração, sofrendo danos diretos pela abrasão e esmagamento, mas também indiretos, pela retirada dos resíduos orgânicos superficiais e alteração do microclima do solo. A mesofauna, em particular os ácaros, é por vezes estimulada, sendo favorecida pela incorporação dos resíduos em profundidade (WARDLE, 1995).

Com base em uma revisão de mais de 100 trabalhos, WARDLE (1995) calculou um índice de mudança (V) para cada um dos organismos considerados em cada um dos trabalhos, comparando a abundância do organismo sob plantio direto e convencional, da seguinte forma:

$$V = (2MPC/MPC + MPD) - 1$$

onde MPC e MPD representam respectivamente a abundância ou massa dos organismos sob plantio convencional e sob plantio direto. O índice V varia entre -1, quando os organismos só ocorrem sob plantio direto, a +1, quando os organismos só ocorrem sob plantio

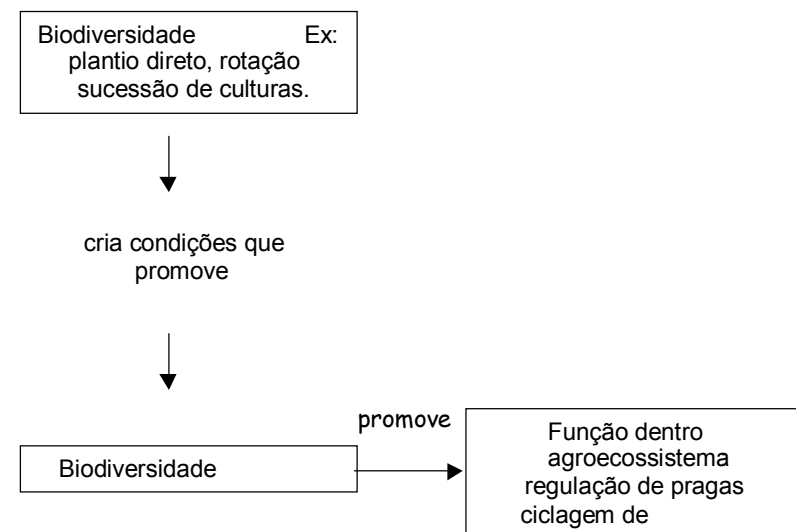


Figura 20. Relação entre a biodiversidade planejada, determinada pelo produtor agrícola, e a associada, que coloniza o sistema em função do manejo (modificada de VANDERMEER & PERFECTO, 1995.).

A diversidade biológica consiste na variedade de espécies no ecossistema bem como a variabilidade existente dentro de cada espécie e suas intra e inter-relações com os processos ambientais. Muitas vezes o conceito é de difícil definição porque consiste não somente de um, mas de dois componentes: o número de espécies de organismos (riqueza) e a abundância relativa (equitabilidade ou uniformidade). Assim, os estudos da biodiversidade podem ser definidos como “estudo das relações entre riqueza e abundância de espécies dentro das comunidades”.

A riqueza de espécies é a medida mais simples, representada pelo número de espécies encontrada em uma comunidade. Embora seja a maneira mais usual de se iniciar um estudo sobre a estrutura de uma comunidade, apresenta a limitação de não levar em consideração os padrões de abundância da espécie.

O segundo componente principal da diversidade é a equitabilidade na repartição entre as espécies.

Para melhor entendimento dos componentes da diversidade tome como exemplo dois sistemas A e B, conforme Figura 21. As espécies são representadas pelas diferentes formas geométricas e o número de indivíduos por cada uma das formas. Assim tanto as populações do sistema A, quanto as populações do sistema B tem 12 indivíduos e 6 espécies diferentes. O índice de riqueza é 0,5, calculado conforme indicado na Tabela 2, e igual para os dois sistemas. Pergunta-se em que estas populações diferem? Os sistemas A e B diferem muito na repartição dos 12 indivíduos entre as 6 espécies. O sistema A apresenta a repartição dos indivíduos entre espécies em 2,2,2,2,2,2, ou seja, a uniformidade é perfeita e não há dominância de nenhuma espécie, enquanto no sistema B a distribuição das espécies está em outro extremo: 7, 1, 1, 1, 1, 1, com mínimo de uniformidade e o máximo de dominância. Assim os dois componentes riqueza e equitabilidade, conjuntamente, descrevem melhor o ambiente.

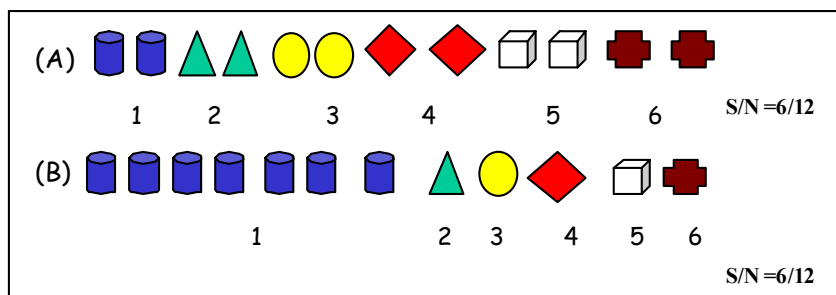


Figura 21. Representação esquemática dos componentes da diversidade. As espécies são representadas pelas diferentes formas geométricas e o número de indivíduos por cada forma.

### 3. Índices de Diversidade

Existem várias abordagens para analisar a biodiversidade, uma delas e a mais usual, é através dos índices de diversidade, que podem ser aplicados para estudos tanto dos microrganismos, quanto dos invertebrados do solo. Os índices mais utilizados são de Shannon ( $H'$ ), Simpson ( $D$ ), Pielou ( $e$ ), Berger & Parker ( $d$ ) e riqueza ( $r$ ) (Tabela 2).

## 5. Influência do Manejo Convencional sobre a Fauna do Solo

### 5.1. Retirada da Vegetação Nativa

Em muitos casos, a primeira etapa do processo agrícola consiste na retirada da vegetação natural para a implantação das culturas de interesse econômico. O efeito imediato desta prática é a extinção local de diversas espécies nativas da fauna de solo, a proliferação das espécies remanescentes que se adaptam a nova condição e após algum tempo a invasão de espécies exóticas da fauna de solo. Esta situação é particularmente bem exemplificada pelo que historicamente tem acontecido com as comunidades de minhocas em regiões tropicais.

No sul do México, mais de metade da vegetação original foi substituída por agroecossistemas. Cerca de 30% da área total, cerca de 488.000 km<sup>2</sup> é ocupada por pastagens e áreas cultivadas, com fragmentos de vegetação natural distribuídos de maneira esparsa. O número de espécies de minhocas nesta região é de 95, das quais 26 são exóticas (FRAGOSO et al., 1997). A riqueza regional desta área, que representa o número total de espécies vivendo em um determinado tipo de ecossistema dentro de uma localidade geográfica, é maior nas florestas tropicais (40 espécies) do que nas pastagens (22 espécies) e plantações de milho (15 espécies). Por outro lado, a área de pastagens no sul do México é quase o dobro da de florestas tropicais. De um ponto de vista regional, isto significa que: 1) com a destruição das florestas nativas, muitas espécies desapareceram localmente; e 2) 50% das áreas perturbadas do sul do México são habitadas por um pequeno número de espécies de minhocas, principalmente exóticas (FRAGOSO et al., 1997).

A prática de derrubada da floresta e queima, muito utilizada na agricultura itinerante é extremamente impactante para a fauna de solo, de tal forma que dos cerca de 5.400 indivíduos/m<sup>2</sup> encontrados em uma floresta secundária na Ilha Grande (RJ), apenas 337 indivíduos/m<sup>2</sup> foram estimados após a derrubada e queima de uma



depositado sobre o solo promovia a atividade destes térmitas, cuja colonização acontecia rapidamente. No ambiente em que foi realizado este experimento, em Burkina Faso, no oeste da Região Saheliana Africana não foi encontrada mais nenhuma fauna de solo, com exceção de mais duas espécies de térmitas. *Odontotermes smeathmani* era responsável pelo transporte de material para a superfície do solo através da construção de túneis (chamados comumente de caminhos de cupim) que os protegiam durante o forrageamento. A abertura de grandes galerias na superfície e no interior do solo permitiu um aumento significativo na infiltração de água no solo, antes limitada pelo selamento superficial. Além disso, houve um aumento na agregação do solo, particularmente abaixo de 10 cm. Como exemplo dos benefícios da presença dos térmitas associada à aplicação de mulche, reproduzimos uma tabela com dados de produção e algumas propriedades do solo encontrados neste experimento (Tabela 4).

Tabela 4- Efeito da presença de térmitas associada a dois tipos de mulche na produção de caupi, condutividade hidráulica e algumas propriedades químicas de um solo saheliano degradado (MANDO et al., 2002).

Tratamentos	Produção	N mineral	K	P total	Ksat*
	(T.ha-1)	(mg.kg-1)	(mg.kg-1)	(mg.kg-1)	(10-5. ms-1)
Esterco + térmitas	1,02	21	87,5	130,5	1,2
Palha + térmitas	0,6	10	26	106,5	1,7
Esterco	0,01	10,5	50,4	140,2	0,9
Palha	0	10,1	29,6	75,7	0,5

\*Ksat = Condutividade hidráulica

Devido a essa capacidade de transformação do meio físico, químico e biológico, as minhocas e os térmitas têm sido apontados como engenheiros do ecossistema, sendo a sua atividade capaz de modificar não só a dinâmica do solo, mas de todo o ecossistema (LAVELLE et al., 1997).

Tabela 2. Índices de diversidade mais usados.

Índices de diversidade	Cálculo	Legenda
Riqueza de espécies (r)	$r = S - 1/\log N$	S = no de espécies
	$r = S/N$	N = no de indivíduos
Shannon (H')	$H' = -\sum P_i \log P_i$	$P_i = n_j/N$ $n_j$ = no, biomassa, etc. log na base 10 ou 2
Simpson (D)	$1 - \sum p_i^2$	$P_i = n_j/N$ $n_j$ = no, biomassa, etc.
Pielou (e) (Uniformidade ou equitabilidade)	$H'/\log S$	H' = índice de Shannon S = número de espécies
Berger & Parker (d) (dominância)	NM/NT	NM = número de indivíduos da espécie mais abundante. NT = total de indivíduos coletados.

Na Tabela 3 são apresentados alguns índices utilizados durante dois anos da conversão do café convencional para orgânico. Com base nestes dados observou-se que os fertilizantes orgânicos aumentaram a riqueza e a diversidade da macrofauna. Mas, de um ano para outro manteve-se a equitabilidade, o que pode ser inerente a um sistema em fase de conversão (AQUINO, dados não publicados).

Tabela 3. Índices de diversidade da fauna do solo obtidos durante a conversão do sistema convencional de produção de café para sistema orgânico.

	Orgânico		Convencional	
	1999	2000	1999	2000
Riqueza	10	14	10	9
I. Shannon	0,59	0,66	0,21	0,35
Equitabilidade (Pielou)	0,59	0,59	0,21	0,37

O mais interessante nas avaliações de índices de diversidade é que estes podem ser aplicados não somente com a caracterização dos indivíduos ao nível de espécie, mas na verdade, tudo que é passível de formar grupos pode ser utilizado para compor estudos de diversidade, e desta forma tem contribuído bastante para o entendimento e a comparação de diferentes manejos.

Um dos fatores limitantes ao uso dos índices de diversidade é a ausência de informações detalhadas sobre a composição das espécies e o desconhecimento da função dos organismos no ambiente solo.

A dominância de espécies da fauna de invertebrados do solo é muito comum em agroecossistemas. Nessas circunstâncias os índices de diversidade podem variar muito, porque a abundância da espécie dominante está sujeita a variação sazonal. Os índices de diversidade, nesses casos, podem ser mais sensíveis à equitabilidade das espécies dominantes do que à riqueza da comunidade. Assim, seria interessante considerar a riqueza de espécies, porque o número de espécies reflete duas importantes características ecológicas: a singularidade genética e a estrutura do habitat. A riqueza quantifica a unidade biológica: a espécie (TONHASCA JR., 1994).

#### **4. Influência da Fauna nos Processos do Solo**

De acordo com HOLE (1981), os zoólogos de solo têm produzido mais trabalhos sobre os efeitos do ambiente do solo sobre a fauna do que o inverso. No entanto, as transformações no tecido do solo promovidas pelos animais estão longe de ser negligenciáveis. Estas modificações ocorrem principalmente durante as atividades de locomoção e alimentação, mas também podem estar relacionadas à reprodução e ao processo de muda (VILLANI et al., 1999). As minhocas por sua atividade de alimentação, escavação e produção de coprólitos, modificam profundamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, afetando assim a produção vegetal (FRAGOSO et al., 1997).

Além do tamanho da espécie de minhoca ser um fator importante na formação dos agregados, a qualidade da fonte alimentar é fundamental para a estabilidade dos agregados formados. FLEGEL et al. (1998) realizaram experimentos de laboratório com três espécies de minhoca: *Lumbricus terrestris*, *L. rubellus* e *Dendrobaena octaedra* para estudar o efeito de seis diferentes fontes alimentares nas propriedades físicas e químicas dos coprólitos. Os resultados indicaram que a estabilidade em água dos agregados era influenciada pela fonte alimentar e pelas espécies de minhoca. Em todos os casos esta propriedade apresentava valores significativamente superiores para os coprólitos, em relação aos agregados do solo (21%). Para todas as espécies de minhoca, a estabilidade em água dos agregados apresentou os maiores valores quando alimentadas com folhas frescas de dente-de-leão (N: 3,59%, C/N: 11), do que com folhas de álamo (N: 2,98%, C/N: 15). Os coprólitos de *D. octaedra* também apresentam a maior estabilidade em água (81%), seguida por *L. rubellus* (80%) e *L. terrestris* (73%). SCHRADER & ZHANG (1997) estudaram como diferentes solos afetavam a eficiência dos coprólitos de minhocas na estabilização da estrutura do solo, e concluíram que quanto mais sensível era um solo à perturbação física, maior o efeito dos coprólitos para a estabilidade dos agregados em água.

A maior parte dos trabalhos relativos à influência da fauna de solo nas propriedades físicas do solo diz respeito, na verdade, ao efeito de minhocas nestas propriedades. No entanto, outros grupos da fauna, tais como térmitas, formigas e enquitreídeos, também alteram as características físicas do solo. SARR et al. (2001) observaram que a infiltração de água era significativamente menor (cerca de 80%) em parcelas experimentais no Senegal, onde os térmitas foram excluídos com inseticida. Este efeito benéfico dos térmitas para o solo também foi observado por TANO & LEPAGE (1990) (SARR et al., 2001), que concluíram que a presença de colônias de *Macrotermes* e *Cubitermes*, na Costa do Marfim, favorecia a infiltração de água no solo. MANDO et al. (2002) relatam que a atividade de *Odontotermes smeathmani* junto com a utilização de mulche foi capaz de recuperar um solo degradado, com elevado grau de compactação e selamento superficial. O material orgânico

Como consequência, nos tratamentos que continham exclusivamente microporosidade (~10 µm) e uma redução na mesoporosidade (~100 µm). Em decorrência desta alteração, a densidade do solo aumentou e a porosidade estrutural tendeu a ser igual ou menor do que a porosidade textural, havendo ainda, um incremento na capacidade de retenção de água. Quando as minhocas eram excluídas do solo, a porosidade total aumentava com o decorrer do tempo, a densidade do solo decrescia e a porosidade estrutural tendia a ser maior que a textural. Quando apenas as pequenas minhocas Eudrilidae estavam presentes a densidade do solo decrescia, a porosidade estrutural era muito maior que a porosidade textural e a capacidade de retenção de água diminuía (Figura 22 A e B) (BLANCHART et al., 1997).

A partir destes experimentos chegou-se à conclusão de que as pequenas espécies de Eudrilidae agiam como espécies descompactantes, promovendo a destruição de grandes e sólidos agregados formados pelas espécies compactantes, como *M. anomala*. Portanto, a estrutura de macroagregados dos primeiros 20 cm do solo na savana de Lamto, na Costa do Marfim, era o resultado das ações antagônicas entre as minhocas compactantes e descompactantes (Figura 23) (BLANCHART et al., 1999).

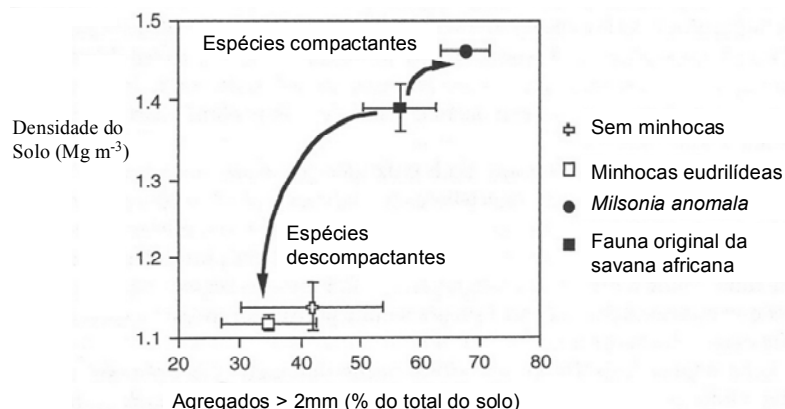


Figura 23 - Evolução da densidade do solo e macroagregados em monolitos de solo (0-10 cm) submetidos a diferentes populações de minhocas em um experimento de campo (Lamto, Costa do Marfim) (BLANCHART et al., 1997).

As minhocas endogeicas, através da produção de coprólitos, exercem uma grande modificação na estrutura do solo (BLANCHART et al., 1999). *Millsonia anomala* é uma espécie de minhoca da família Megascolecidae, geófaga mesohúmica, que representa de 40 a 80% da biomassa total de minhocas nas savanas da Costa do Marfim. Experimentos de campo conduzidos por BLANCHART (1992) demonstraram a importância desta espécie de minhoca na restauração da estrutura macroagregada original. Na ausência de minhocas, a formação de macroagregados maiores que 2,00 mm é muito limitada e decorrente de ciclos de umidade e seca e da atividade microbiana. Após 14 meses de experimento, solos do tratamento sem minhocas possuíam a menor percentagem de agregados > 2 mm (5%), enquanto que em solos com minhocas este percentual era de 45%.

Os coprólitos da fauna são enriquecidos em matéria orgânica e sob condições apropriadas podem transformar-se em agregados estáveis. Estes agregados estáveis podem fornecer um ambiente protetor para a matéria orgânica que se encontra no seu interior. Por definição, os poros no interior dos agregados são menores do que os poros entre agregados, levando a limitações no transporte de O<sub>2</sub>. Quanto maior o agregado, maior a porção do mesmo que terá limitações de difusão de O<sub>2</sub> (MARINISSEN & DIDDEN, 1997).

A formação destes agregados é resultado da ingestão do solo, sua completa dispersão na parte anterior do tubo digestivo e reagregação na parte final do intestino, terminando com a deposição destes agregados na forma de coprólitos. É o que acontece para *Pontoscolex corethrurus*, uma minhoca geófaga tropical comum em pastagens no México, onde chega a ingerir anualmente 400 Mg de solo seco por hectare (BAROIS et al., 1993). Estes autores estudaram a estrutura do solo antes e após a ingestão por *P. corethrurus* usando microscopia eletrônica de varredura e transmissão e observaram que a desagregação que ocorria no tubo digestivo era acompanhada por um acréscimo de água e polissacarídeos livres (muco intestinal). Esta estratégia tem como objetivo facilitar a multiplicação dos microorganismos presentes no solo, que através da produção de enzimas, são responsáveis pela degradação da matéria orgânica. As substâncias mais simples

formadas a partir da ação da microbiota são então assimiladas pela minhoca, que não produz as enzimas necessárias para degradar os materiais mais recalcitrantes. Esta desestruturação e reestruturação do solo faz com que elementos orgânicos, antes protegidos no interior de agregados sejam reciclados; e outros, no sentido inverso passem a estar protegidos na formação de novos agregados (BAROIS et al., 1993).

Minhocas de tamanhos pequeno e médio da família Eudrilidae também são capazes de produzir agregados de 2-5 mm de diâmetro, quando introduzidas em solo peneirado em malha de 2 mm. No entanto, a maioria dos coprólitos formados por estas minhocas encontram-se na faixa de 0,5 – 2 mm (BLANCHART et al., 1999). O efeito da produção de agregados na porosidade é dependente, em parte, do tamanho das espécies de minhocas presentes. Em experimentos com monolitos de solo realizados na savana de Lamto, na Costa do Marfim, observou-se que *M. anomala*, de tamanho relativamente grande, produzia 60% dos agregados maiores que 2 mm, em contraste com 45% para fauna original da savana, 20% para o solo controle, e apenas 18% para pequenas espécies de Eudrilidae que ocorrem no mesmo ambiente (BLANCHART et al., 1997). Como consequência, nos tratamentos que continham exclusivamente *M. anomala*, houve um aumento na macroporosidade (~1 mm) e microporosidade (~10 µm) e uma redução na mesoporosidade (~100 µm). Em decorrência desta alteração, a densidade do solo aumentou e a porosidade estrutural tendeu a ser igual ou menor do que a porosidade textural, havendo ainda, um incremento na capacidade de retenção de água. Quando as minhocas eram excluídas do solo, a porosidade total aumentava com o decorrer do tempo, a densidade do solo decrescia e a porosidade estrutural tendia a ser maior que a textural. Quando apenas as pequenas minhocas Eudrilidae estavam presentes a densidade do solo decrescia, a porosidade estrutural era muito maior que a porosidade textural e a capacidade de retenção de água diminuía (Figura 22 A e B) (BLANCHART et al., 1997).

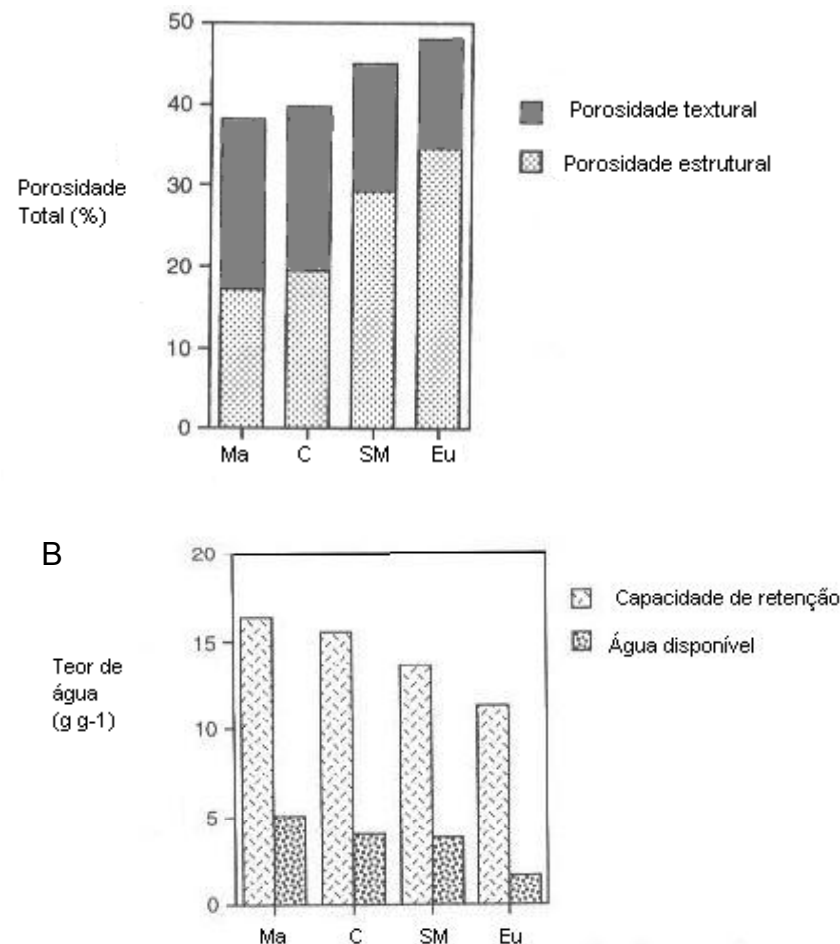


Figura 22- A) Evolução da porosidade (estrutural e textural) em monolitos de solo (0-10 cm) submetidos a diferentes populações de minhocas em um experimento de campo (Lamto, Costa do Marfim). Ma = Milsonia anomala, C = controle, SM = sem minhocas, Eu = minhocas Eudrilidae. B) Evolução da capacidade de retenção de água disponível no mesmo experimento descrito acima (adaptado de BLANCHART et al., 1997).